

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Podzemní parkování v sídlištní zástavbě
Underground parking in the housing estate

Student:

Filip Štadler

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Štadler**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: Podzemní parkování v sídlištní zástavbě
Underground Parking in the Housing Estate
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Využití podzemí pro parkování
3. Návrh podzemního parkování ve vybrané lokalitě
4. Zhodnocení návrhu
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Klepsatel, F. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 215 s. ISBN 80-889-0543-5.
Klepsatel, F. a kol. *Městské podzemní stavby*. Bratislava: Jaga Group, 2005, 286 s. ISBN: 80-8076-021-7.
Turček, P., Hulla, J. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN: 80-88905-99-0.
Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3
databáze Knovel dostupná z VŠB-TUO

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2018

Datum odevzdání: 06.05.2019

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval sám pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave

.....

podpis študenta

Prehlasujem:

- bol som oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, predovšetkým § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo použiť ku svojim vnútorným potrebám (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z ich strany, uzavrú licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst.. 4 autorského zákona.
- bolo dohodnuté, že použiť moje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO vynaložené na vytvorenie diela (až do jej skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej bakalárskej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave

.....

podpis študenta

PodĎakovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce Ing. Lukášovi Ďurišovi, PhD. za odborné vedenie pri práci, poskytnutie usmerňujúcich rád a pomoci pri písaní práce.

Anotácia:

Predmetom bakalárskej práce je návrh a posúdenie stabilizačných konštrukcií pre podzemné parkovanie. Úvodná časť práce je venovaná výhodám a nevýhodám využívania podzemia ako priestoru pre parkoviská, uvádza príklad efektívneho využitia podzemia pre parkovisko v Ostrave a automatizovaný parkovací systém, princíp jeho fungovania, pre ktorý bude stavebná jama navrhovaná. Ďalej popisuje stavebné jamy, ich rozdelenie a následne ponúka prehľad vybraných stabilizačných konštrukcií stavebnej jamy. Praktická časť práce sa zameriava na návrh pažiacích konštrukcií podzemného parkoviska vo vytypovanej lokalite. Na základe dostupných geologických dát bol zostrojený geologický model horninového prostredia v programe RockWorks17. Vo vybranom reze sa rieši návrh a posúdenie dvoch typov stabilizačných konštrukcií. Návrh a posúdenie bolo vykonané v programe GEO5. Záver práce vyhodnocuje a porovnáva vybrané typy stabilizačných konštrukcií.

Kľúčové slová:

Podzemné parkovanie, návrh, stavebná jama, pažiacie konštrukcie, štetovnicová stena, pilótová stena, GEO5

Annotation:

The aim of the bachelor thesis is to design and assess stabilization constructions for underground parking. The initial part of the thesis deals with advantages and disadvantages of the possibility to use underground for parking places. It brings the example of effective underground parking in Ostrava and automated parking system, for which the foundation pit is designed. Accordingly, the thesis describes foundation pits, their differentiation and offers an overview of chosen stabilization constructions. The practical part of the thesis is focused on design of foundation pit for underground parking in selected location. Based on the available geological data, there was constructed geological model of rock environment in program RockWorks17. In the chosen cross-section two stabilization constructions are designed and assessed. Design and assessment was done in program GEO5. The conclusion of the thesis evaluates and compares the selected types of stabilization structures.

Key words:

Underground parking, design, foundation pit, stabilization constructions, sheet piling, pilot wall, GEO5

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Využitie podzemia pre parkovanie.....	9
2.1. Príklad podzemného parkoviska v Ostrave.....	10
2.2. Automatizovaný parkovací systém	11
3. Stavebné jamy	13
3.1. Rozdelenie stavebných jám podľa rozmerov a smeru postupu výstavby.....	14
3.1.1. Vertikálne - šachty (šachtice).....	14
3.1.2. Horizontálne – jamy, ryhy	14
3.2. Rozdelenie podľa technológie zaistenia stien jám	15
3.2.1. Svahované stavebné jamy	15
3.2.2. Pažené stavebné jamy	16
4. Návrh stabilizačných prvkov podzemného parkoviska vo vybranej lokalite	21
4.1. Metóda posúdenia	21
4.2. Modelovanie a výpočet šmykovej plochy	22
4.3. Vytýpovaná lokalita	23
4.3.1. Vrtná preskúmanosť.....	23
4.4. Štetovnicová stena.....	26
4.4.1. Geometria konštrukcie.....	26
4.4.2. Postup výpočtu.....	27
4.4.3. Posúdenie návrhu ocelového prierezu podľa EN 1993-1-1	29
4.5. Pilótová stena	31
4.5.1. Geometria konštrukcie	31
4.5.2. Postup výpočtu	32
4.5.3. Posúdenie betónového prierezu	33
5. Porovnanie návrhov.....	35
5.1. Vnútorne sily.....	35
5.2. Deformácie	36
5.3. Cena.....	37
5.3.1. Štetovnicová stena	38
5.3.2. Pilótová stena	39
6. Záver	41
7. Zoznam použitej literatúry.....	43
8. Zoznam obrázkov.....	45
9. Zoznam tabuliek.....	46
10. Zoznam príloh.....	47

1. Úvod

Budovanie parkovacích kapacít predstavuje už niekoľko desaťročí neoddeliteľnú súčasť výstavby. Primerané parkovacie možnosti zvyšujú hodnotu rezidenčných, maloobchodných a komerčných nehnuteľností. Parkovanie je často považované za problém cenovo dostupných priestorov na bývanie či podnikanie, pretože zvyšuje náklady pre nájomcov, či vlastníkov pozemkov. V prípade parkovísk mimo husto zastavané územia je voľba v 90% nadzemná. Ak sa ale presunieme do zastavaných stiesnených podmienok, napr. centier miest, voľba parkovacej taktiky sa približuje k podzemnej alternatíve. Hoci predstavuje drahšie riešenie, technológia výstavby v kombinácii s vysokou cenou pozemkov, ako aj čoraz väčší dôraz na zeleň nielen v okolí obytných, ale aj komerčných nehnuteľností, znamená, že podzemné parkovisko je jedinou možnosťou ako zabezpečiť potrebný počet parkovacích miest.

Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť, posúdiť a porovnať stabilizačnú konštrukciu stavebnej jamy podzemného parkoviska vybaveného technológiou automatizovaného parkovacieho systému vo vhodne vybranej lokalite pre realizáciu takejto stavby.

Teoretická časť práce sa bude zameriavať na výhody a nevýhody využívania podzemia pre parkovanie s uvedením príkladu efektívneho využitia podzemného priestoru pre parkovanie v Ostrave a predstavením technológie parkovacieho systému od spoločnosti KOMA. Bude pokračovať rozdelením stavebných jám a popisujem spôsoby zabezpečenia stability stien jamy.

Pre vybranú lokalitu bude zostavený geologický a budú priradené základné parametre. Výpočet bude posudzovať dva typy pažíacích konštrukcií, jednu štetovnicovú a jednu pilóťovú stenu. V závere práce budú navrhnuté konštrukcie porovnané podľa vybraných parametrov.

2. Využitie podzemia pre parkovanie

Ako som spomenul v úvode práce, nedostatok voľných stavebných plôch ako aj ich samotná zvyšujúca sa cena začína nútiť projektantov využiť podzemné priestory pre navýšenie parkovacích kapacít. Využitie podzemného priestoru pre umiestnenie podzemného parkoviska má ako každá iná podzemná stavba svoje výhody a nevýhody, na ktoré by som rád poukázal.

Výhody:

- podzemné parkovanie umožní redukcii parkovania v uličnom profile; vzniknutý priestor možno využiť ako pešiu zónu alebo lokalitu s obmedzením vjazdu osobných áut,
- pomáha maloobchodu v mestských centrách v súťaži s veľkopriestorovými maloobchodnými zariadeniami pri rýchlostných cestách a diaľniciach na periférii miest,
- v prípade automatizovaného parkovacieho systému umožňuje efektívnejšie, prípadne intenzívnejšie využívať územie v centrách miest alebo na sídliskách bez výrazného negatívneho vplyvu na životné prostredie,
- ďalšie výhody plynú z pohľadu pohodlnosti užívateľov, ako napríklad: relatívna bezpečnosť pred odcudzením a poveternosťnými vplyvmi, bezprostredná blízkosť a pod.

Nevýhody:

- vyššie investičné náklady na jedno parkovacie miesto vzhľadom na využívanie rôznych doplnkových technológií, ako napríklad vzduchotechnické riešenie, výtahové riešenia, vstupné riešenia, atď.,
- vyššie celkové investičné náklady v porovnaní s pozemnou alternatívou,
- predĺžená doba výstavby vzhľadom na náročnosť technologického postupovania.

2.1. Príklad podzemného parkoviska v Ostrave

Ako príklad efektívneho využitia podzemia som si zvolil podzemné parkovisko na, resp. pod Prokešovým námestím v Ostrave. Toto parkovisko bolo postavené v roku 1998 a disponuje parkovacími miestami pre viac ako 200 motorových vozidiel.

Projektanti si museli poradiť so zabezpečením stavebnej jamy a okolia stavby, keďže sa v tesnej blízkosti nachádza sídlo historickej budovy radnice mesta Ostravy. O riešenie tohto problému sa postaral konštrukčný systém ocel'obetónu Ing. Lukáša. Tento konštrukčný systém podporil rozoprením 15 metrov dlhými rozperami (obr. 1), čím zabezpečil bezkolíznu, bezpečnú prevádzku výstavby v priestoroch podzemného parkoviska.



Obrázok 1 Stavebná jama – konštrukčný systém ocel'obetónu Ing. Lukáša[11]

Na povrchu terénu bolo potrebné z plochy námestia odstrániť parter s ihličnatými stromami ako aj plastiku s vodotryskom. Do týchto priestorov boli umiestnené východy z podzemia, ktoré sú vybavené výťahom a schodiskom. Na severnom okraji parkoviska bola umiestnená vstupná rampa pre vjazd do parkovacieho priestoru.



Obrázok 2 *Východ z podzemia[11]*

Povrch terénu a teda celá plocha Prokešovho námestia je riešená bezbariérovo. Stred námestia je vydláždený doskami zo sliezskej žuly v kombinácii s čiernou žulou. Okraje sú pokryté mozaikou zo štiepaného mramoru v odtieňoch čiernej a bielej farby. Sliezkou žulou obložili aj lavičky na námestí, ktoré zároveň slúžia ako nasávanie vzduchu pre ventiláciu podzemia (obr. 2). Východy z parkoviska sú riešené transparentne, tak aby čo najmenej prekážali námestiu a radnici. [11]



Obrázok 3 *Nasávanie ventilácie podzemného parkoviska[11]*

2.2. Automatizovaný parkovací systém

Ako vzor pre zhotovenie stavebnej jamy som si zvolil automatizovaný parkovací systém (APS) od spoločnosti KOMA – Industry s.r.o., ktorý sa nachádza v kampuse Vysokej školy Báňskej.

Ide o automatizované centrum nezávislého parkovania, ktorý využíva systém zakladania áut v pravouhlých pohyboch za pomoci sofistikovaného riadiaceho systému. Tento systém umožňuje koordináciu a súbeh pohybov viacerých parkovacích činností v reálnom čase. Preto vznikol priestor pre skrátenie a optimalizáciu parkovacej doby.[9] Aj v prípade tohoto systému by som rád poukázal na jeho výhody a nevýhody.

Výhody automatizovaného parkovacieho systému:

- efektívne využitie priestoru a stavebných plôch,
- eliminovanie ľudského faktoru pri parkovaní, zmenšil sa teda aj potrebný priestor pre manévrovanie s autom pri parkovaní,
- parkovanie je rýchle, jednoduché a šetrí čas,
- požiadavky na osvetlenie sú minimálne,
- riziko odcudzenia alebo poškodenia, taktiež veľmi malá,

Nevýhody automatizovaného parkovacieho systému:

- vyššia počiatočná investícia,
- nutnosť využitia záložného zdroja v prípade výpadku zdroja energie,
- minimálna podpora zo strany investorov, ako napr. obce a štát.



Obrázok 4 APS Vysoká škola báňská

3. Stavebné jamy

Stavebná jama je priestor, v ktorom sa zhotovujú základové konštrukcie, podzemné priestory pozemných stavieb alebo objekty podzemného staviteľstva. Kvôli dodržaniu potrebnej hĺbky založenia stavby z hľadiska dosiahnutia únosnosti základovej pôdy, tak aj z hľadiska klimatických vplyvov sa hĺbia stavebné jamy takmer pri každom prípade založenia stavby. Za jamy obvykle považujeme výkopy, ktorých pôdorysné rozmery preyšujú hĺbkový rozmer, žiadny z rozmerov nie je akokoľvek obmedzovaný. [3,4,5]

Stavebné jamy môžeme rozdeliť:

A. podľa prevažujúcich rozmerov a smeru postupu hĺbenia na:

- **vertikálne** – prevažuje hĺbkový rozmer, napríklad šachty a šachtice,
- **horizontálne** – prevažujú pôdorysné rozmery nad hĺbkou, napríklad ryhy

B. podľa technológie zaistenia stien stavebnej jamy:

- **svahované jamy**
- **pažené jamy**

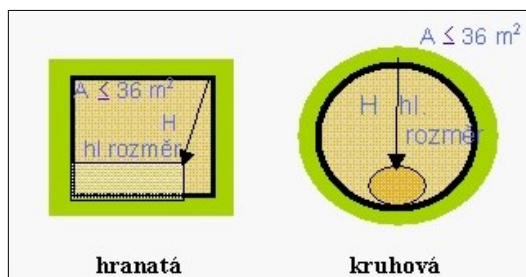


Obrázok 5 Stavebná jama, výstavba palácu Stromovka [12]

3.1. Rozdelenie stavebných jám podľa rozmerov a smeru postupu výstavby

3.1.1. Vertikálne - šachty (šachtice)

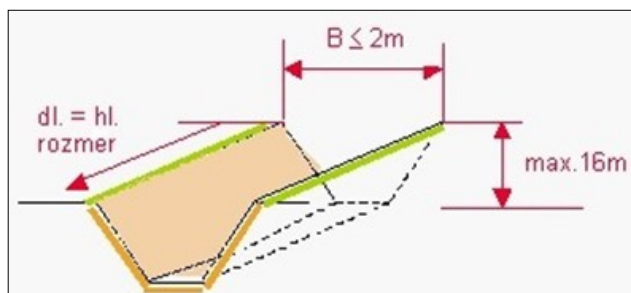
Ide sa o typ diela, pri ktorom prevláda hĺbkový rozmer nad pôdorysnými. Šachta je strmá, vo väčšine prípadov zvislá, môže byť aj šikmá. Šachty a šachtice sa podľa baníckej vyhlášky ČBÚ č.55/1996 považujú za zvislé dielo, ak má zvislica sklon väčší ako 45° , prierezová plocha do $3,7\text{m}^2$ a hĺbku od 3,0 do 50,0 metrov. V tejto vyhláške sa presnejšie definuje pojem – stavebná šachta. Má väčšie rozmery ako šachtica, ale hlavný rozdiel je v hĺbkovom rozmere, teda ak hovoríme o šachticiach ich hĺbka je maximálne do 20 metrov. [3,5]



Obrázok 6 Schéma hranatej a kruhovej šachty [13]

3.1.2. Horizontálne – jamy, ryhy

Ide o typ výkopov, pri ktorých prevláda jeden rozmer, napríklad dĺžka, a výrazne prevažuje nad ostatnými pôdorysnými rozmermi. Tento typ stavebnej jamy sa využíva pre uloženie inžinierskych sietí. Do rýh sa zakladajú aj malé podzemné diela, plytko uložené kolektory.[3,5]



Obrázok 7 Schéma ryhy [13]

3.2. Rozdelenie podľa technológie zaistenia stien jám

3.2.1. Svahované stavebné jamy

Táto metóda je výhodná v prípade, že sa stavba zakladá v malej hĺbke a hladina podzemnej vody sa nachádza hlboko pod výkopom. Ako najmenšiu hĺbku založenia môžeme považovať výšku nadložia od 0,8 do 1,0 metra, kedy je stavba založená pod nezámrznou hĺbkou a umožňuje nad ňou bezproblémové vedenie inžinierskych sietí. Významnejšie podzemné stavby by mali mať výšku nadložia minimálne 2,0 až 2,5 metra, čo umožňuje bezproblémové kríženie s vodovodmi a plynovodmi. [1,5]

Pri určitých podmienkach môžeme navrhnúť výkop so zvislými stenami nezapaženými, ale samozrejme záleží na hĺbke výkopu a na hydrogeologických podmienkach.

Tabuľka nižšie opisuje maximálnu hĺbku nepaženého svahu so zvislými stenami.

Tabuľka 1 Maximálna hĺbka nepaženého svahu so zvislými stenami[14]

Súdržné zeminy v zastavanej oblasti	1,3m
Súdržné zeminy v nezastavanej oblasti	1,5m
Nesúdržné zeminy	0,7m

Sklony svahov sa navrhujú čo najstrmšie z dôvodu minimalizácie objemu výkopu, následného zasypávania a zníženej požiadavky na manipulačný priestor okolo jamy. Návrh sklonu svahu jamy ovplyvňujú geologické podmienky na stavenisku, hladina podzemnej vody, zaťaženie povrchu v okolí stavebnej jamy, hĺbka výkopu a pri trvalých výkopoch aj spôsob úpravy trvalého terénu. Svahy výkopu musia byť stabilné počas celej fázy výstavby. Čo sa týka svahovaných výkopov v skalných horninách môžeme zvoliť veľmi strmé svahy, ak sú vhodne orientované smery sklonu plôch diskontinuit.[5]

3.2.2. Pažené stavebné jamy

Obzvlášť v mestskej zástavbe bývajú stavebné jamy vždy pažené, a to z dôvodu nedostatku priestoru pre svahovanie v blízkosti existujúcich objektov, v blízkosti inžinierskych sietí, kde je hladina podzemnej vody nad úrovňou dna výkopu a nedá sa znížiť čerpaním, medzi dvoma novými objektami, alebo keď je nutná stabilizácia susedných pozemkov.

Pažiacia konštrukcia sa zväčša skladá z troch prvkov - paženie, previazanie, rozopretie alebo kotva, kde má každý prvok svoju funkciu. Tieto prvky majú mnoho rôznych variánt a môžu sa vhodne kombinovať, preto je paženie univerzálnym riešením pre výstavbu stavebnej jamy.

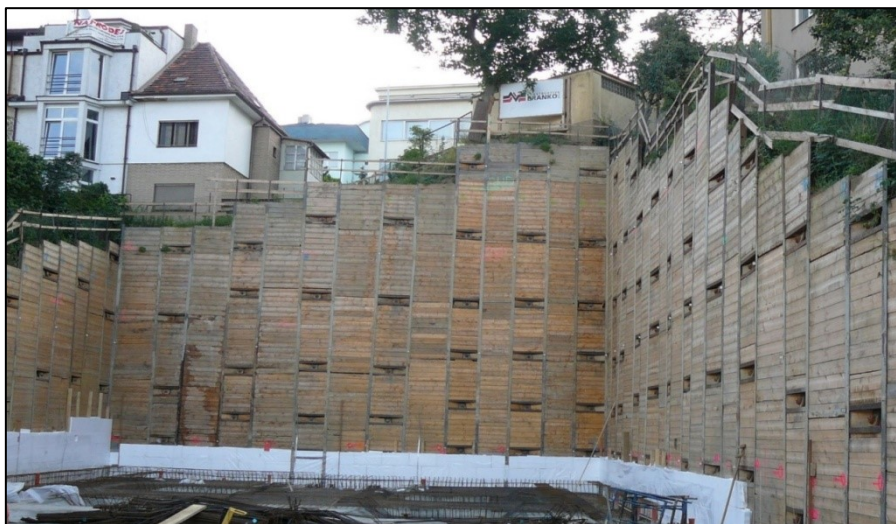
Pažiacu konštrukciu vyberáme na základe požiadaviek na stabilitu, podmienok realizácie stavby, výška hladiny podzemnej vody atď. V súčasnosti sa v praxi najviac využívajú tieto varianty paženia: záporové paženie, štetovnicové steny, príložné paženie a pilótové steny. [1,5,8]

A. Záporové paženie

Vo väčšine prípadov sa tento typ paženia realizuje ako dočasné zaistenie zvislých stien výkopov a hlbokých rýh. Toto paženie v sebe kombinuje výhody štetovnicového a príložného paženia, je vhodné do súdržných aj nesúdržných zemín. Ak dokážeme znížiť hladinu podzemnej vody na dno stavebnej jamy, sme schopný toto paženie využiť pri výstavbe pod hladinou vody. Hĺbka zaistenia výkopov sa pohybuje v rozmedzí 5 až 20m.

Záporovému paženiu sa udáva životnosť 2 roky, po skončení životnosti nemusí byť táto konštrukcia odstránená vždy. Rozlišujeme tak dve varianty paženia: paženie s pracovným priestorom a paženie využité ako stratené debnenie.

Ako záporný, hlavný konštrukčný prvok, sú zvyčajne používané profily I č. 300 - 400, HEB č. 240 – 340 a dvojica profilov U č. 260 – 300. Ďalší prvok konštrukcie sú pažiny, ktoré sa osádzajú po čiastočnom vyhlbení ihneď medzi rozpory. Pažiny sa vyrábajú z rozdielnych materiálov, napr.: drevené hranoly, fošny, oceľové pažiny UNION, striekaný betón s výstužnou sieťou alebo betónové prefabrikáty. Pažiny sa musia aktivovať pomocou klinov. Rozpery a kotvy tvoria hlavné stabilizačné prvky konštrukcie. Rozpery sa navrhujú vodorovné alebo šikmé, vyrobené z ocele alebo z dreva. Kotvy sú buď pramencové alebo tyčové. Na previazanie pažín a ekonomickejšie využitie rozoprenia stavebnej jamy slúžia oceľové valcované profily, ktoré sú navzájom prizvárané. Previazanie prebieha vždy cez minimálne dve záporny. [1,3,5,8]



Obrázok 8 Záporové paženie [9]

B. Štetovnicové steny

Štetovnicové steny sa vyrábajú z oceľových valcovaných prvkov typu Larsen, ktoré sa spájajú za pomoci zámkov a tvoria súvislú stenu. Ak ju votkneme do nepriepustného podlažia, má tesniace vlastnosti. Rýchlosť realizácie týchto stien je jedna z výhod tohto paženia.

Štetovnicové paženie môže slúžiť ako dočasná alebo trvalá konštrukcia. Trvalá konštrukcia sa môže využívať pri protipovodňových opatreniach. V takomto prípade treba vybrať materiál prvkov tak, aby bol odolný voči agresivite zeminového prostredia. Typy zemín podľa obtiažnosti inštalácie štetovnic opisuje nasledujúca tabuľka.

Tabuľka 2 Realizovateľnosť štetovnicového paženia s ohľadom na typy zeminy [10]

Veľmi náročná	<ul style="list-style-type: none"> - súdržné zeminy mäkká konzistencia - nesúdržné zeminy kypré, neulahlé
Stredne náročná	<ul style="list-style-type: none"> - súdržné zeminy (tuhá až tvrdá konzistencia) - nesúdržné zeminy stredne ulahlé - elúvia podkladových hornín
Náročná	<ul style="list-style-type: none"> - nesúdržná zemina (stmelené piesky, ulahlé štrky) - zvetralé mäkké horniny
Veľmi náročná	<ul style="list-style-type: none"> - nesúdržné silno ulahlé štrky, hrubé štrky do priemeru 200 mm - zvetralé mäkké horniny - elúvia stredne tvrdých a tvrdých hornín
Neúčinná	<ul style="list-style-type: none"> - nesúdržné kamenité a balvanité sute, viac než 30% balvanov 200mm - zvetralé, navetralé a zdravé horniny tr. R 4 - 1

Technológiu výstavby štetovnicových stien môžeme popísať v nasledovných fázach. Štetovnicové prvky po jednom vŕhajú alebo vibrujú do zeminy. Každá ďalšia sa pripojí zámkom a vŕhá sa do potrebnej hĺbky. Ak je zložitá geológia alebo hĺbka votknutia väčšia ako 8m je potrebné rozdeliť vŕhanie na časti.

Stabilizácia štetovnic sa realizuje za pomoci kotvenia. Kotviť sa môže niekoľkými spôsobmi, buď do ocelového previazania, do zosilnených zavibrovaných prvkov alebo môžeme kotviť každú zvlášť. Ak je výkop užších rozmerov, môžeme využiť ako stabilizáciu rozpery.[1,10]

C. Príložné paženie

Systém príložného paženia sa využíva prevažne k zaistovaniu líniových výkopov v súdržných zeminách, pri ktorých sa využíva doba stability výkonu k zabudovaniu paženia. Príložné paženie sa skladá z dvoch hlavných častí: pažníc, ktoré môžu byť z rôznych materiálov, napr.: ocelové pažnice, železobetónové panely a rozperný systém, ktorý môže byť drevený alebo z ocelových nastaviteľných rozper.

Ak pažíme úzke stavebné jamy, ryhy, častejšie sa využívajú prefabrikované pažiace systémy, napr.: Krinsg, Krupp, ABTM, SHB. Tieto systémy sa taktiež skladajú z dvoch častí - z ocelových pažiacích dosiek zakončené hrotom, ktoré rozpínajú

šróbovacie rozpery, resp. hydraulické lisy. Prefabrikované systémy sa vyrábajú pre rôzne hĺbky a šírky, a inštalujú sa v zmontovanom stave za pomoci zdvíhacej techniky. [3,9,15]



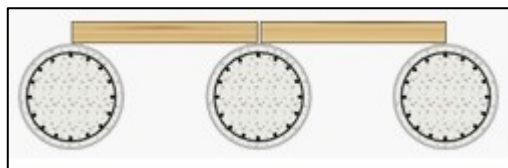
Obrázok 9 Nainštalované príložné paženie SHB [15]

D. Pilótové steny

Pilóty môžu byť nevystužené alebo vystužené ocelovou armatúrou, zvyčajne kruhového tvaru. Pilótové steny môžeme navrhnuť do viacerých situácií, ako trvalé pažiacie a konštrukčné steny alebo trvalé operné konštrukcie. Konštruujú sa vŕtaním, vystužením a následným vyplnením betónom. [4]

Pilóty môžeme rozdeliť podľa svetlej výšky a osového usporiadania jednotlivých pilót. Z pohľadu delenia podľa výšky môžu byť voľne stojace alebo kotvené. Podľa usporiadania môžeme pilóty rozdeliť na tri typy:

- 1. Nesúvislé pilóty** - pilóty, ktorých osová vzdialenosť je väčšia ako priemer pilóty. Priestor medzi pilótami sa ošetrí striekaným betónom, prípadne v kombinácii s výstužnou sieťou,



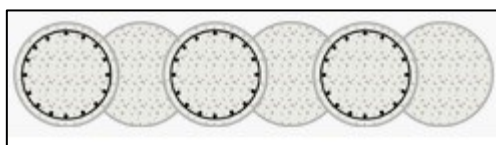
Obrázok 10 Pilótová stena s paženou medzerou [7]

2. **Tangenciálne pilóty** - osová vzdialenosť pilót sa rovná priemeru, nevzniká medzi nimi voľný priestor, preto majú vyššiu únosnosť v tangenciálnom smere a taktiež sa jednoduchšie kotvia,



Obrázok 11 Tangenciálne usporiadanie pilót [7]

3. **Prevrtané pilóty** - osová vzdialenosť týchto pilót je menšia ako ich priemer. Prevrtané pilóty môžeme rozdeliť do skupín na primárne a sekundárne. Pri realizácii sa najskôr zhotovia primárne pilóty a простého betónu. Následne sa medzi primárne prevrtajú sekundárne, ktoré sú vystužené armokošom. [4,7]



Obrázok 12 Prevrtané pilóty [7]

4. Návrh stabilizačných prvkov podzemného parkoviska vo vybranej lokalite

Cieľom praktickej časti je návrh a posúdenie zaistenia stavebnej jamy pre inštaláciu technológie automatického parkovacieho zariadenia. V prvej fáze sme si vytipovali vhodnú lokalitu pre stavbu podzemného parkoviska v Ostrave. Následne prevedieme variantný výpočet pre dva typy pažiacích konštrukcií, kým maximálna hĺbka stavebnej jamy bude 13m.

4.1. Metóda posúdenia

Všetky výpočty a posúdenia boli vykonané vo výpočtovom programe GEO 5 – modul Pažení posudek od firmy FINE. Ide o obežný inžiniersky program pre návrh a posúdenie pažiacích konštrukcií. Pre výpočet bola využitá metóda závislých tlakov, ktorá vychádza z predpokladu, že sa zemina alebo hornina v okolí podzemnej steny správa ako ideálna pružno- plastická hmota, Winklerova hmota. Táto hmota je definovaná modulom reakcie podložia „Kh“.

Modul reakcie podložia bol stanovený na základe výpočtu podľa Schmitta, ktorý využíva závislosť edometrického modulu zeminy a ohybovej tuhosti konštrukcie. Tento vzťah popísal ako:

$$Kh = 2,1 \cdot \left(\frac{E_{oed}^{4/3}}{(EI)^{1/3}} \right)$$

E_{oed} = edometrický modul [MPa]

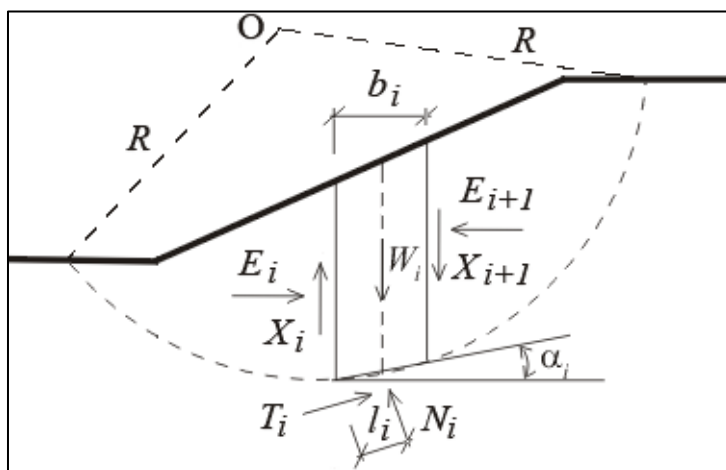
EI = ohybová tuhosť konštrukcie [MNm²/m]

Pre posúdenie konštrukcií bola zvolená, v programe GEO5, metóda výpočtu podľa EN 1997, NP2 – redukcia zaťaženia a odporu. Použil som štandardné hodnoty súčiniteľov redukcie zaťaženia a redukcie odporu.

Kotevný systém bol posudzovaný metodikou medzných stavov, hodnoty súčiniteľov redukcie únosnosti boli zvolené 1,35. [6]

4.2. Modelovanie a výpočet šmykovej plochy

Pre modelovanie a výpočet šmykovej plochy bola zvolená kruhová šmyková plocha a jej následné optimalizovanie. Metóda výpočtu bola vykonaná podľa Bishopa (Obr. 13). Táto metóda patrí medzi klasické prúžkové metódy. Počíta sa s nulovými šmykovými silami medzi blokmi X_i . Princíp výpočtu spočíva v splnení momentovej podmienky a zvislej silovej podmienky rovnováhy. [6]



Obrázok 13 Bishopová metóda - statická schéma pôsobiacich síl [6]

O – stred šmykovej plochy, R – polomer šmykovej plochy, b – šírka úseku, E_i – normálová sila medzi úsekmi, X_i – šmyková sila medzi úsekmi, W_i – tiaž jednotlivých úsekov, T_i – šmyková sila v časti šmykovej plochy, N_i – normálová sila v časti šmykovej plochy, α_i – sklon časti šmykovej plochy

Stupeň stability SF sa určí nasledovným vzťahom:

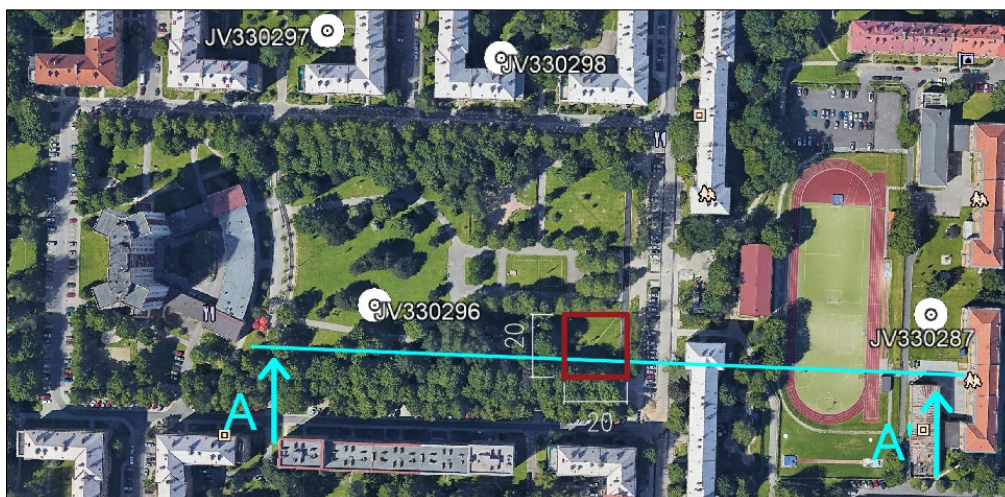
$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS}} \quad [6]$$

Kde platí:	u_i – pórový tlak	[kPa]
	c_i, φ_i – efektívne hodnoty parametrov zeminy	[kNm/m]
	W_i – tiaž úseku	[kN/m ³]
	α_i – sklon úseku šmykovej plochy	[°]
	b_i – šírka úseku	[m]

4.3. Vytýpovaná lokalita

Pri výbere som sa rozhodoval medzi dvoma alternatívami v rôznych lokalitách Ostravy. Ako prvú lokalitu som vytýpoval na ulici 28. října v mestskej časti Mariánske hory, vedľa budovy finančného riaditeľstva. Táto lokalita bola odmietnutá z dôvodu už realizovanej výstavby parkovania pre novú výstavbu.

Druhá lokalita sa nachádza v mestskej časti Poruba. Pozemok sa nachádza na parcele číslo 1525 v juhovýchodnej časti Havlíčkovho námestia. Ohraničujú ho ulice Bohuslava Martinů a Havanská. Vzhľadom na veľkosť parcely som sa rozhodol situovať stavebnú jamu do juhovýchodnej časti, ako je možno vidieť na obrázku 14. V tesnej blízkosti pozemku leží komunikácia a obytné budovy.



Obrázok 14 Lokalizácia vrtov, stavebnej jamy a naznačenie rezu

4.3.1. Vrtná preskúmanosť

Na základe dostupných informácií z archívu vrtnej preskúmanosti (Geofond), ktorý spravuje Česká geologická služba boli blízko lokality zastihnuté štyri archívne vrty. Jedná sa o vrt č. 330296, 330297, 330298, 330287. Pozície vrtov sú zdokumentované na obrázku č. 14.

Tabuľka 3 Základné informácie

ID vrtu	Účel	Hĺbka [m]	Rok realizácie
330296	inžinierskogeologický	16,30	1952
330297	inžinierskogeologický	17,20	1952
330298	inžinierskogeologický	17,00	1952

Z jednotlivých jadrových vrtov sa ukázalo horninové prostredie ako členité. Kvartérna vrstva obsahovala v rozmedzí 0 až 6 metrov pod úrovňou terénu niekoľko vrstiev tuhého ílu, ílu s prímiesou piesku alebo íl s prímiesou organického detritu. V úrovni 5 metrov až 8 metrov po povrchoch sú zaznamenané suché vrstvy jemnozrnného piesku a hlinitého piesku. Po vrstvách piesku v hĺbke 8 metrov sa objavuje približne dvoj metrová vrstva štrku, miestami štrkopiesku stredne zrného. Od približne 10 metrov pod terénom boli zaznamenané dve vrstvy ílu, prvá bola vo väčšine prípadov vrstva tuhého ílu piesčitého, za ním nasledovala vrstva vlhkého ílu piesčitého.

Vrstvy ílu ukončili tzn. kvartérnu vrstvu v 12 metroch. V terciérnej vrstve bola zachytená vrstva slínovca tuhej konzistencie, ktorej mocnosť dosahovala 5,5 metra. Po konzultácií sme zhodnotili zeminy ako vhodnú pre prípadné založenie stavby.

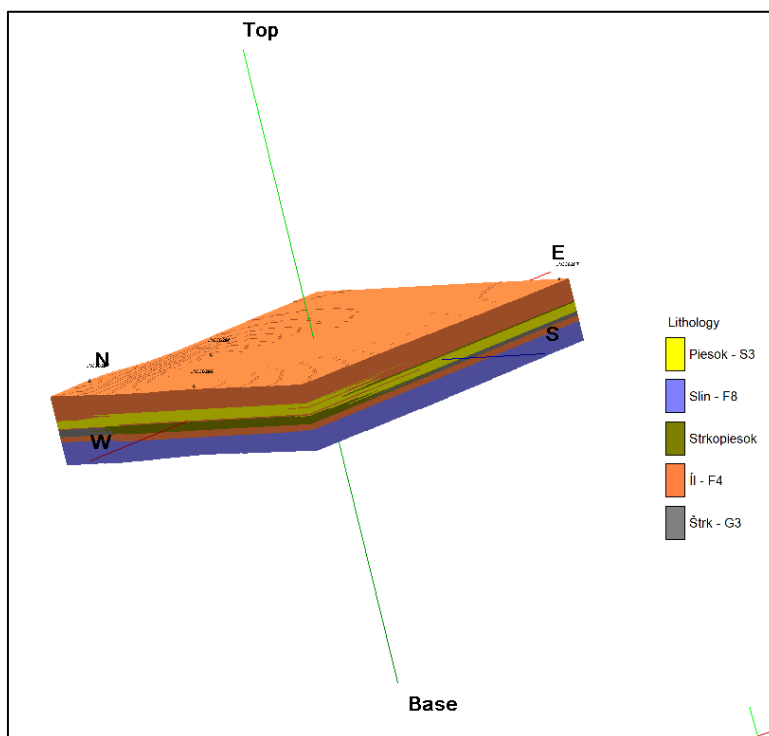
Podľa archívnych vrtov bolo zistené zeminové prostredie a následne označené podľa dnes už neplatnej normy ČSN 73 1001. Jednotlivým geotechnickým typom boli priradené základné parametre ako objemová tiaž, objemová tiaž suchej zeminy, efektívny uhol vnútorného trenia zeminy, efektívna súdržnosť. Ako možno vidieť v tabuľke č. 4.

Tabuľka 4 Klasifikácia zemín a ich základné parametre

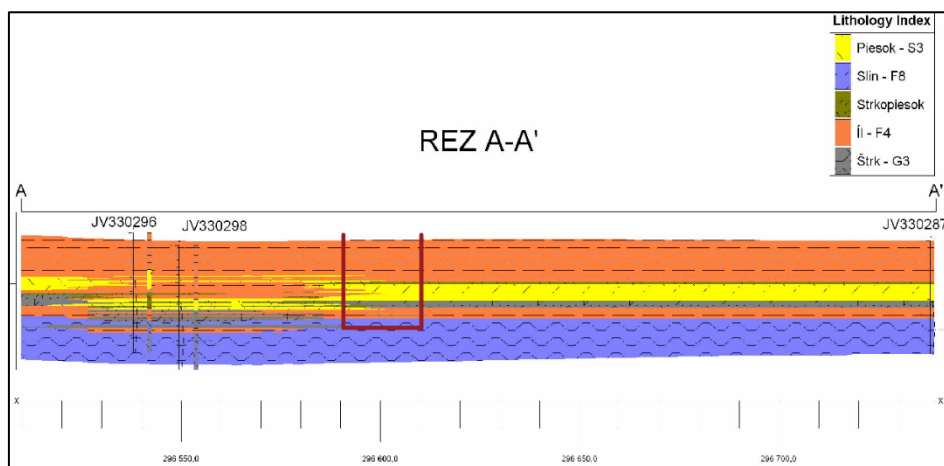
Vrstva	Trieda	Základné parametre zemín				
		φ_{ef}	c_{ef}	γ	γ_{su}	δ
		[°]	[kPa]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]
Ílové	<i>F4, tuhá konzistencia</i>	24,5	14	18,5	8,5	10
Pieskové	<i>S3, stredne uľahlá</i>	29,5	0	17,5	7,5	15
Štrkové/ štrkopieskové	<i>G3, stredne uľahlá</i>	32,5	0	19	9	15
Slínovec	<i>F8, konzistencia pevná, $S_r > 0,8$</i>	15	10	20,5	10,5	10

Hladina podzemnej vody bola ustálená v úrovniach od 7 do 9,1 metrov pod úrovňou terénu.

Na základe vyžiadaných dát z Geofondu som zostrojil geologický model horninového prostredia v programe Rockworks17. Schému celého modelu je vidieť na obrázku č 15. V mieste budúcej stavby bol vedený rez AA (obr. 16) na základe ktorého bol prevedený posudok pažiacích konštrukcií.



Obrázok 15 Geologický model horninového prostredia



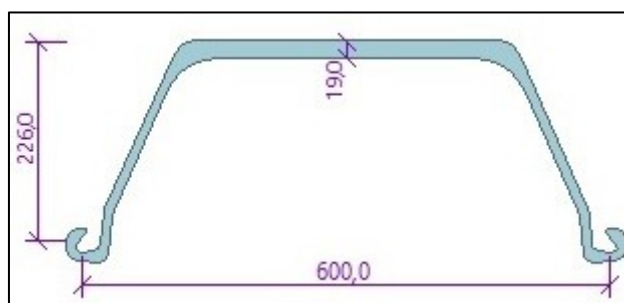
Obrázok 16 REZ A-A'

4.4. Štetovnicová stena

Ako prvá varianta pažiacej konštrukcie bola navrhnutá štetovnicová stena. Vo vybranej lokalite bola zaznamenaná hladina podzemnej vody, a preto je nutné voliť tesnú konštrukciu. To umožňuje práve štetovnicová konštrukcia, ktorá je votknutá do nepriepustného podložia, akým je práve slínovec.

4.4.1. Geometria konštrukcie

V tejto variante návrhu som použil oceľové štetovnice v kombinácii so systémom kotiev a oceľových previazok. Štetovnice budú do zeminy zavibrované. Typ štetovnicovej steny som zvolil Larssen 607n o celkovej dĺžke 28 metrov, aby vyhovovala svojimi parametrami daným podmienkam.



Obrázok 17 Profil Larssen 607 n

Tabuľka 5 Prierezové a materiálové charakteristiky štetovnice

Prierez					Materiál	
Názov prierezu	A [m ² /m]	I [m ⁴ /m]	W [m ³ /m]	Wpl [m ³ /m]	E [MPa]	G [MPa]
LARSEN 607 n	2,42E-02	7,23E-04	3,20E-03	3,62E-03	210000,00	210000,00

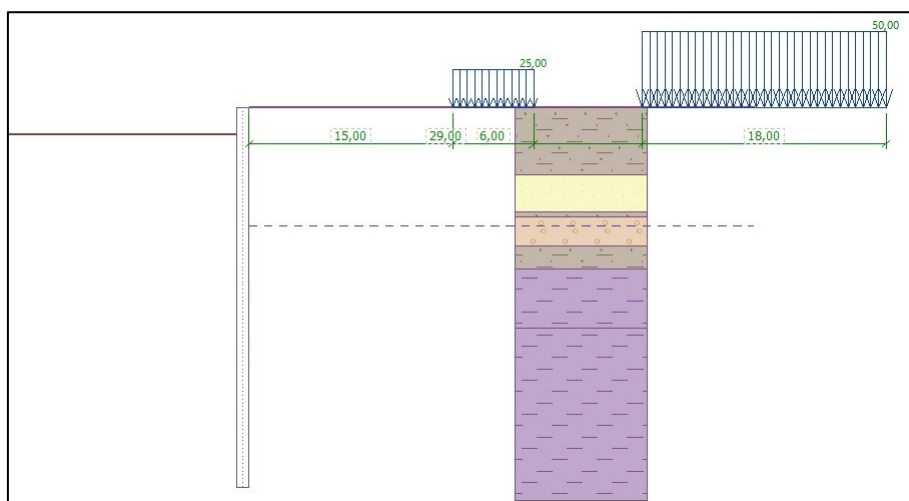
Kotviaci systém bol navrhnutý do štyroch úrovní v kombinácii s oceľovým previazaním. Boli použité lanové päťpramencové kotvy s pevnosťou do 1800MPa. Priemer koreňa kotiev bol navrhnutý na 200mm a plášťovým trením 80kPa. Koreň kotvy bude uložený v cementovej zálievke s pevnosťou v tlaku 32MPa. Voľné dĺžky kotiev sa líšia, pozri tab. 5.

Tabuľka 6 Kotvy – štetovnicová stena

Číslo úrovne	Názov	Typ kotvy	Hĺbka	Voľná dĺžka	Dĺžka koreňa	Vzdialenosť medzi kotvami	Sila
			z [m]	l[m]	lk[m]	b [m]	F [kN]
1	Kotva 15,5/1800	pramencová	1,70	30,00	10,00	2,00	200,00
2	Kotva 15,5/1800	pramencová	4,80	30,00	15,00	2,00	400,00
3	Kotva 15,5/1800	pramencová	7,40	30,00	15,00	2,00	400,00
4	Kotva 15,5/1800	pramencová	10,00	30,00	20,00	2,00	400,00

4.4.2. Postup výpočtu

Výpočet stabilizačných konštrukcií som urobil v programe GEO5, konkrétne v module Pažení posudek. Pre presnosť výpočtu bolo potrebné stanoviť rozhrania horninového prostredia (podľa geologického modelu), vzdialenosť a veľkosť zaťaženia od dopravnej komunikácie a obytných budov, ktoré sa nachádzajú v tesnej blízkosti jamy, ako možno vidieť na obr. 18.



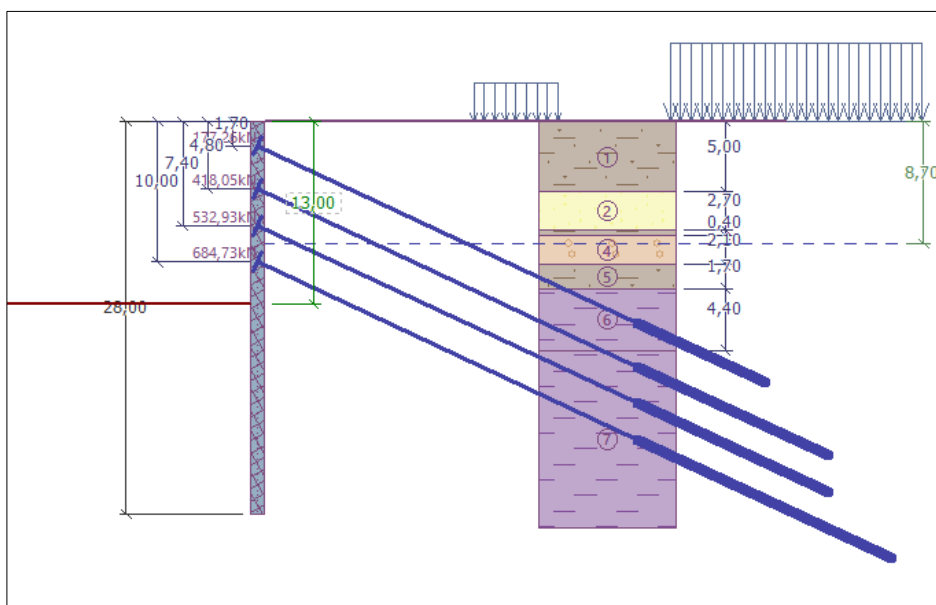
Obrázok 18 Schéma zaťaženia

Stavebná jama bude realizovaná hĺbením a kotvením do úrovne 13m pod úroveň terénu. Výpočet bol realizovaný celkom v 9 fázach. Po každej fáze bolo vykonané posúdenie vnútornej stability konštrukcie, vonkajšej stability a kontrola únosnosti kotiev.

V prvej fáze výstavby bude potrebné zabudovať štetovnice do navrhnutej hĺbky 28m. Následne, bude realizované hĺbenie do úrovne 2,5m. Po vyhlíbení terénu sa začne s realizáciou druhej fázy, kotvenia. Kotvy budú nainštalované do úrovne 1,9m a predopnuté na požadovanú silu (tab. 5), osová vzdialenosť po šírke steny je stanovená na 2m.

Nasleduje ďalšia fáza hĺbenia do úrovne 5,5m. Stále sa nachádzame nad hladinou podzemnej vody. Druhá kotviaca úroveň je v 4,8m. Od tejto úrovne sa predpínacia sila zvýšila na $F = 400\text{kN}$, osová vzdialenosť ostáva nezmenená 2m. Hĺbenie pokračuje do hĺbky 8m. Kotvy budú umiestnené v 7,4m a predopnuté.

V 7. fáze výstavby sa hĺbením do 10,5m dostávame pod hladinu podzemnej vody. Po vyhlíbení jamy sa zvýšili výsledné deformácie oproti ostatným fázam o dvojnásobok veľkostí deformácií konštrukcie na dne jamy. Ďalšia kotviaca úroveň bola navrhnutá do hĺbky 10m a bude predopnutá. Posledným hĺbením sa dostávame na potrebnú úroveň 13m. Podrobný postup výpočtu aj s kompletným posúdením nájdeme v prílohe č. 1.



Obrázok 19 Finálna konštrukcia v reze

4.4.3. Posúdenie návrhu ocelového prierezu podľa EN 1993-1-1

Výpočtový súčiniteľ namáhania prierezu = 1,0

Dimenzačné sily na 1m steny:

$$M_{\max} = 742,97 \text{ kNm/m}; \quad Q = 13,84 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\max} = 373,28 \text{ kN/m}, \quad M = 51,36 \text{ kNm/m}$$

Posúdenie max. momentu $M_{\max} + Q$:

Posúdenie ohybu:

$$M_{\max}/M_{c,Rd} = 0,988 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posúdenie šmyku:

$$Q/V_{c,Rd} = 0,013 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posúdenie rovinnej napätosti:

$$\text{Normálové napätie } \sigma_{x,Ed} = 212,66 \text{ MPa}$$

$$\text{Šmykové napätie } \tau_{Ed} = 1,37 \text{ MPa}$$

$$\text{Posudok: } (\sigma_{x,Ed}/(f_y/\gamma_{M0}))^2 + 3*(\tau_{Ed}/f_y/\gamma_{M0})^2 = 0,819 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posúdenie max. posúvajúcej sily $Q_{\max} + M$:

Posúdenie ohybu:

$$M/M_{c,Rd} = 0,068 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posúdenie šmyku:

$$Q_{\max}/V_{c,Rd} = 0,356 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posúdenie rovinnej napätosti:

$$\text{Normálové napätie } \sigma_{x,Ed} = 14,70 \text{ MPa}$$

$$\text{Šmykové napätie } \tau_{Ed} = 36,24 \text{ MPa}$$

$$\text{Posudok: } (\sigma_{x,Ed}/(f_y/\gamma_{M0}))^2 + 3*(\tau_{Ed}/f_y/\gamma_{M0})^2 = 0,075 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posúdenie únosnosti jednotlivých kotiev

Tabuľka 7 Posúdenie kotiev – štetovnicová stena

Číslo	Max. sila F [kN]	Pretrhnutie kotvy Rt [kN]	Vytrhnutie zo zeminy Re [kN]	Vytrhnutie zo zálievky Rc [kN]	Využitie [%]	Posúdenie
1	177,68	943,33	372,34	827,89	47,72	Vyhovuje
2	416,55	943,33	558,51	1241,84	74,58	Vyhovuje
3	528,05	1132,00	558,51	1360,37	94,55	Vyhovuje
4	696,73	1132,00	744,67	1813,83	93,56	Vyhovuje

Maximálne využitie kotvy sú v úrovni č. 3 s využitím 94,55 %.

Posúdenie vonkajšej stability svahu (Bishop)

Súčet aktívnych síl: $F_a = 5356,63 \text{ kN/m}$

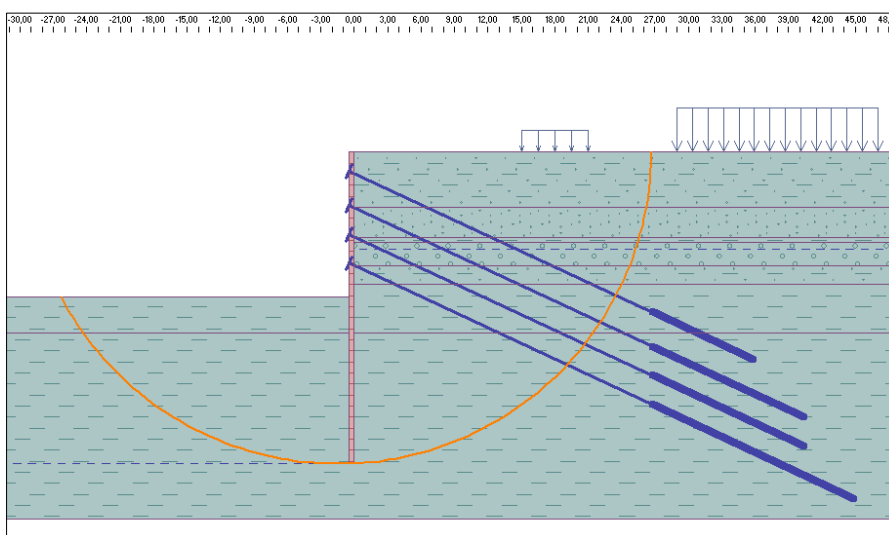
Súčet pasívnych síl: $F_p = 5912,54 \text{ kN/m}$

Moment zosúvajúci: $M_a = 150628,47 \text{ kNm/m}$

Moment vzdorujúci: $M_p = 151145,99 \text{ kNm/m}$

Využitie: 99,7%

VYHOVUJE



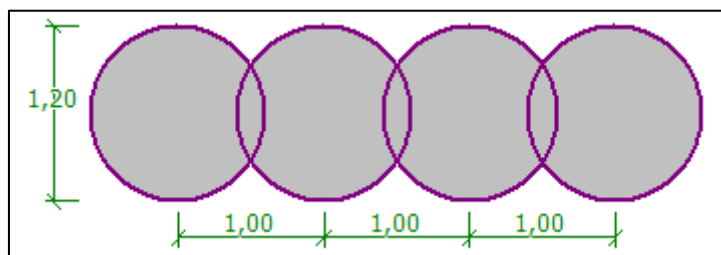
Obrázok 20 Šmyková plocha

4.5. Pilótová stena

Ako druhú variantu pažiacej konštrukcie som zvolil pilótovú stenu. Táto konštrukcia bola navrhnutá ako trvalá zaistovacia konštrukcia. Táto konštrukcia má taktiež tesniace vlastnosti podobne ako štetovnice. Po vyhlbení jamy na požadovanú úroveň bude stačiť vybudovať spodnú dosku, nainštalovať technológiu a zakryť stropnou doskou.

4.5.1. Geometria konštrukcie

Návrh tesného paženia vyžaduje technológiu prevrtaných pilót. Pilóty sú navrhnuté o priemere $d = 1,2\text{m}$ a osovo vzdialené $a = 1\text{m}$ v kombinácii s oceľovými pramencovými kotvami a celkovej dĺžke pilót 28m. Pilóty budú z betónu triedy C25/30, vystužené betonárskou oceľou triedy B500, v zvislom smere s krytím 70mm, profil $\varnothing 25\text{mm}$, v počte 21 kusov. Vzhľadom na veľkosť výsledných zemných tlakov som využil aj šmykovú výstuž $\varnothing 10/300$, kvôli zvýšeniu celkovej tuhosti konštrukcie.



Obrázok 21 Schéma pilótovej steny

Kotvy sú podobne ako v prvej variante 5 pramencové s pevnosťou 1800MPa. Voľná dĺžka kotiev v jednotlivých úrovniach je rozdielna, pozri tab. 7. Korene kotiev som zvolil o priemere 200mm a ich dĺžky sa menia taktiež v závislosti od úrovne danej kotvy. Zosilnenie proti vytrhnutiu zo zálievky tvorí cementová zmes s pevnosťou 32MPa.

Tabuľka 8 Kotvy - pilótová stena

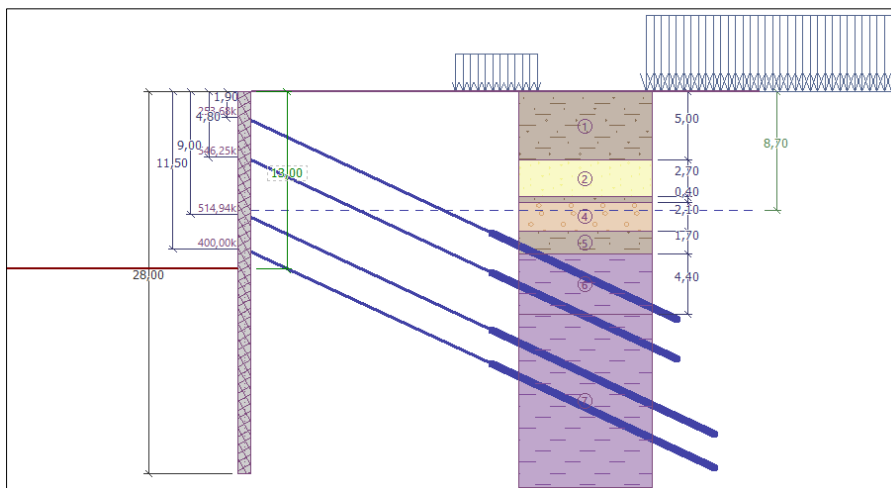
Číslo úrovne	Názov	Sklon [°]	Hĺbka	Voľná dĺžka	Dĺžka koreňa	Vzdialenosť medzi kotvami	Sila
			z [m]	l[m]	lk[m]	b [m]	F [kN]
1	Kotva 15,5/1800	25	1,90	20,00	15,00	2,00	200,00
2	Kotva 15,5/1800	25	4,80	20,00	15,00	2,00	400,00
3	Kotva 15,5/1800	25	9,00	20,00	18,00	2,00	400,00
4	Kotva 15,5/1800	25	12,00	20,00	18,00	2,00	400,00

4.5.2. Postup výpočtu

V prípade pilótovej steny som navrhol 8 fáz. Výpočet som skrátil o jednu fázu, pretože priebežné výsledky únosnosti umožnili zväčšiť úrovne hĺbenia. Vzďialenosť a veľkosti priťaženia od okolitých objektov som prevzal z návrhu štetovnicovej steny. Po každej fáze bol opäť vykonaný výpočet vnútornej stability konštrukcie, vonkajšej stability a kontrolu únosnosti kotiev.

Pred prvou fázou hĺbenia bude potrebné aj v tomto prípade inštalácia pilótovej steny po celom obvode stavebnej jamy do navrhutej hĺbky 28m. Následne začína prvá fáza, hĺbenie do úrovne 2,5m. Po vyhlbení nasleduje druhá fáza, a to prevedenie prvej úrovne kotviaceho systému v hĺbke 1,9m.

Ďalšie hĺbenie som zvolil do úrovne 6m. Druhá kotviaca úroveň bola stanovená v hĺbke 4,8m. Tretia „etapa“ hĺbenia pokračuje do 10m. Opäť sa dostávame pod hladinu podzemnej vody. Priebeh vnútorných síl ukazuje zvýšené hodnoty. Kotvy budú zavedené v 9m. Posledným hĺbením sa dostaneme na potrebnú k dosiahnutiu únosného podlažia, 13m. Vykoná sa posledná úroveň kotviaceho systému v 11,5m. Podrobný postup výpočtu aj s kompletným posúdením nájdeme v prílohe č. 2.



Obrázok 22 Ukážka finálnej konštrukcie v reze

4.5.3. Posúdenie betónového prierezu

Výpočtový súčiniteľ namáhania prierezu = 1,00

Posúdenie na ohyb

Vystuženie – 21 ks profil 25,0 mm; krytie 70,0 mm

Stupeň vystuženia $\rho = 0,292 \% > 0,130 \% = \rho_{\min}$

Zaťaženie: $M_{Ed} = 2622,77 \text{ kNm}$

Únosnosť: $M_{Rd} = 2693,35 \text{ kNm}$

Navrhnutá výstuž pilóty

VYHOVUJE

Posúdenie na šmyk

Šmyková výstuž – profil 10,0 mm; vzdialenosť 300,0 mm

$A_{sw} = 523,6 \text{ mm}^2$

Posúvajúca sila na medzi únosnosti: $V_{Rd} = 614,66 \text{ kN} > 465,08 \text{ kN} = V_{Ed}$

Prierez

VYHOVUJE

Posúdenie únosnosti jednotlivých kotiev

Tabuľka 9 Posúdenie kotiev – pilótová stena

Číslo	Max. sila F [kN]	Pretrhnutie kotvy R_t [kN]	Vytrhnutie zo zeminy R_e [kN]	Vytrhnutie zo zálievky R_c [kN]	Využitie [%]	Posúdenie
1	253,68	943,33	558,51	1241,84	45,42	Vyhovuje
2	546,25	943,33	558,51	1241,84	97,81	Vyhovuje
3	514,94	943,33	670,21	1490,21	76,83	Vyhovuje
4	400,00	943,33	670,21	1490,21	59,68	Vyhovuje

Maximálne využívané kotvy sú v úrovni č. 2 s využitím 97,81 %.

Posúdenie vonkajšej stability (Bishop)

Sumácia aktívnych síl: $F_a = 6395,02$ kN/m

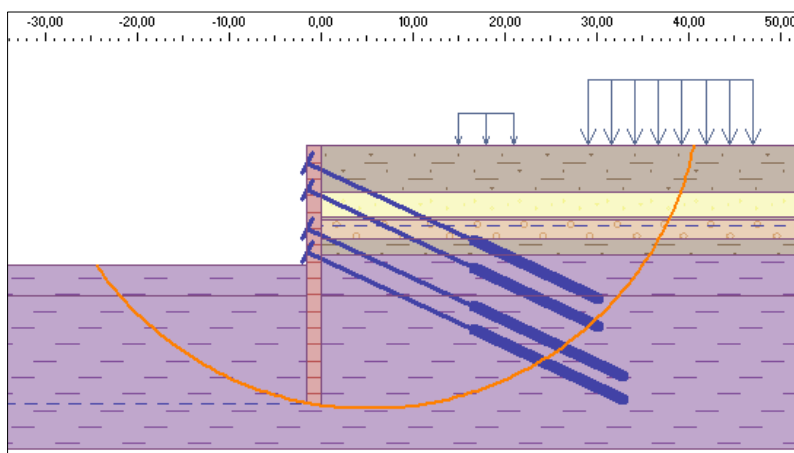
Sumácia pasívnych síl: $F_p = 7122,38$ kN/m

Moment zosúvajúci: $M_a = 230924,03$ kN/m

Moment vzdorujúci: $M_p = 233808,46$ kN/m

Využitie: 98,8%

VYHOVUJE



Obrázok 23 Šmyková plocha

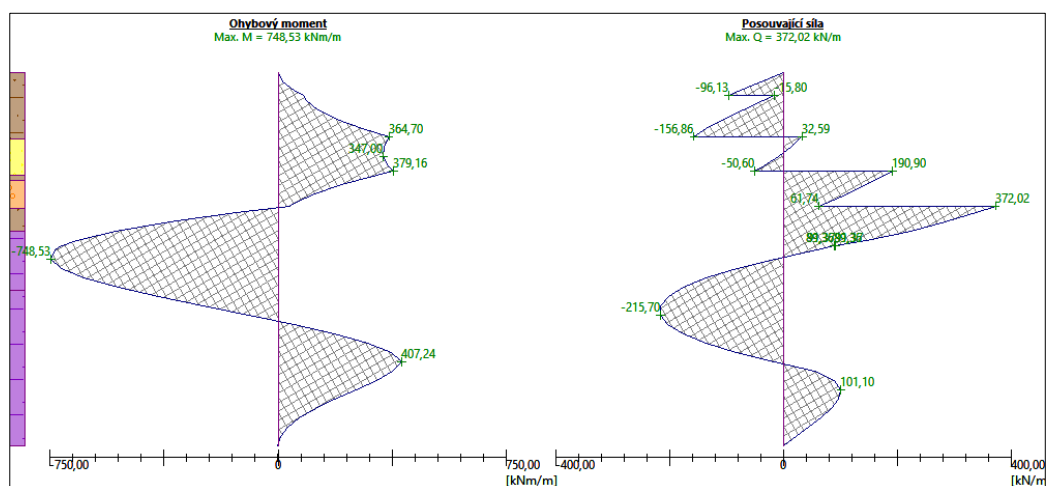
5. Porovnanie návrhov

Cieľom práce bol návrh pažiacej konštrukcie a porovnanie oboch typov konštrukcií. Ako porovnávacie parametre konštrukcie som si vybral:

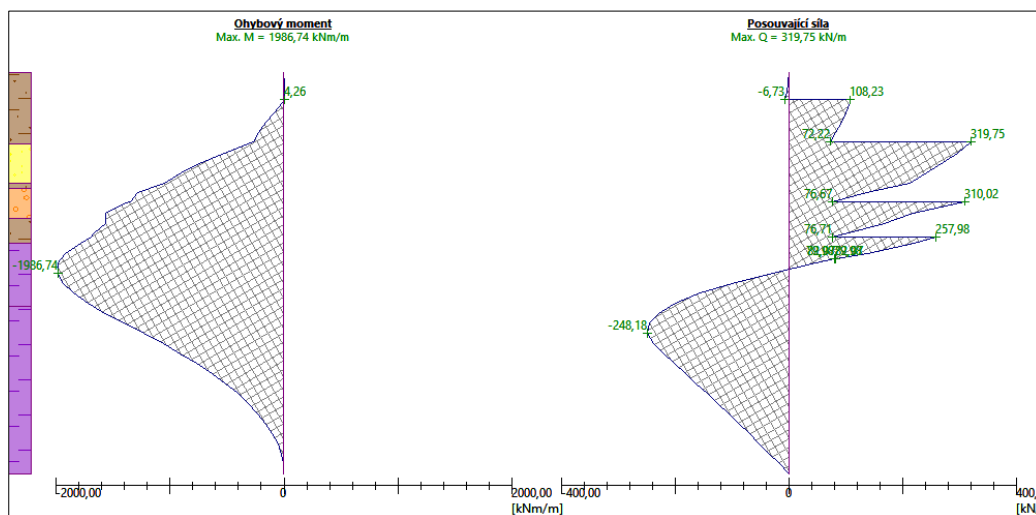
1. vnútorné sily
2. deformácie
3. cena

5.1. Vnútorne sily

Prevedením výpočtu vnútorných síl po dĺžke konštrukcie si všimneme, že v hĺbke cca do 6m sú vypočítané záporné hodnoty posúvajúcich síl, a v kotviacich úrovniach sa znova približujú nulovej hodnote. Tieto sily sú vypočítané na základe zaťaženia konštrukcie zemnými tlakmi a predpínacími silami v kotvách. Na obrázku 24 môžeme sledovať priebeh posúvajúcich síl štetovnicovej steny, kde vidíme tri oblasti, ktoré prechádzajú nulovou hodnotou sústavy. Toto zapríčiňuje vznik maximálnych ohybových momentov, teda oblasť ktorá je ovplyvnená deformáciami najviac. Maximálny ohybový moment sa nachádza v päte konštrukcie a dosahuje hodnoty 743,97kNm/m.



Obrázok 24 Priebeh vnútorných síl - štetovnicová stena



Obrázok 25 Priebeh vnútorných síl - pilótová stena

Posúvajúce sily v druhej variante návrhu mali zaznamenané kladné hodnoty od prvej kotviacej úrovni, čo nám napovedá, že by konštrukcia mala byť stabilná bez väčších stabilitných problémov, ako napr. vodorovné deformácie. Na obrázku 25 je vidieť, že ani zvýšenie zemných tlakov o pórový tlak vody v druhej polovici konštrukcie neovplyvnil vnútorné sily natoľko, že by sa to výrazne odzrkadlilo na celkovom priebehu posúvacích síl. V tomto prípade bol vypočítaný jeden maximálny ohybový moment. Maximálna hodnota ohybového momentu sa nachádza až pod úrovňou dna stavebnej jamy a jeho hodnota je 1 986,74 kNm/m.

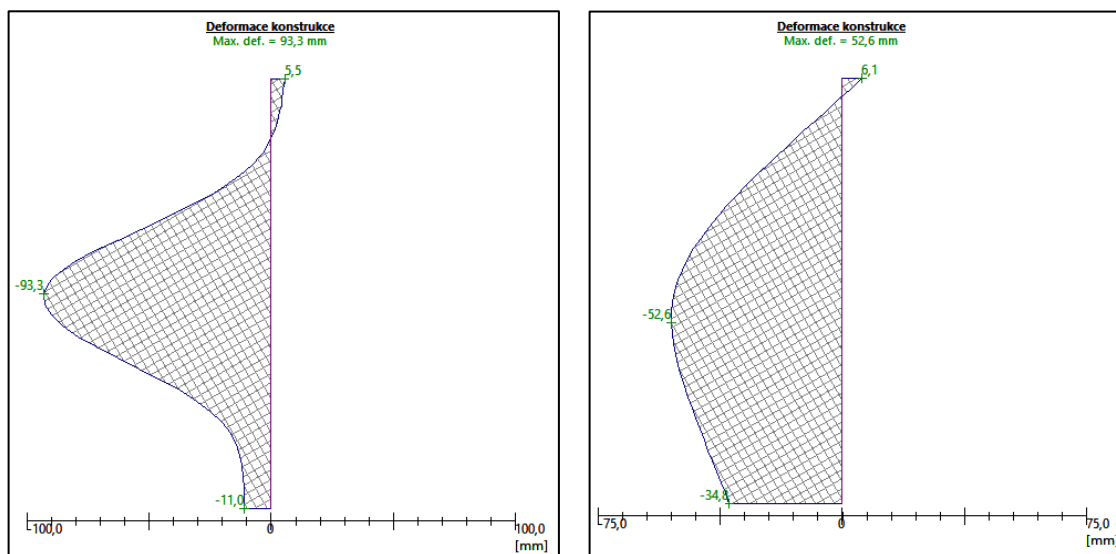
5.2. Deformácie

Druhý porovnávací parameter som si zvolil deformácie, čo predstavuje jeden z hlavných sledovaných parametrov na väčšine konštrukcií. V tomto prípade sú sledované horizontálne posuny konštrukcie.

V prípade štetovnicovej steny, a celkovo ocelových konštrukcií, závisí veľkosť deformácie od materiálových charakteristík. Štetovnicová stena je z tenkostenného ocelového profilu, ktorý bez potrebného kotvenia už v malej hĺbke vykazuje značné deformácie. Na priebehu deformácií si môžeme všimnúť, že veľkosť deformácií sa výrazne nemení a zistené deformácie v hornej polovici konštrukcie nepresahujú hodnotu 30mm. V druhej polovici konštrukcie, kedy sa zemný tlak zvýšil o hodnotu pórového tlaku vody sa deformácie výrazne zvyšujú a s približovaním sa ku dnu jamy deformácie

nadobúdajú hodnôt skoro 100mm, presnejšie 93,3mm. Takéto deformácie konštrukcie sú zriedka prípustné, ale v našej situácii by sa stavba mohla zrealizovať, vzhľadom na to, že tento typ pažiacej konštrukcie je len dočasné riešenie.

Deformácie pilótovej steny sú po celej dĺžke konštrukcie výrazne nižšie ako u štetovnic. Veľkosť deformácií v prípade pilótovej steny vieme zmenšiť, tým že sa nadimenzuje vhodná výstuž. Navrhnutá bola v tomto prípade zvislá výstuž v kombinácii s vodorovnou výstužou pre zlepšenie únosnosti v ohybe a šmyku. Na obrázku 26 vidíme finálne deformácie konštrukcie. Postupným hĺbením sa hodnota deformácií zvyšuje ale jej hodnoty sú skoro o polovicu menšie než v prípade štetovnicových stien. Maximálna hodnota deformácií na tejto konštrukcii bola vypočítaná na 52,6mm.



Obrázok 26 Deformácie - vľavo štetovnicová stena; vpravo pilótová stena

5.3. Cena

Ako posledný parameter pre porovnanie konštrukcií som zvolil cenu. Tento parameter býva v drvivej väčšine hlavným kritériom stavieb väčšieho rozsahu alebo verejných zákazkách.

5.3.1. Štetovnicová stena

Cenový odhad pažiacich konštrukcií, som pre porovnanie vykonal na základe dostupných cenových ponúk. V prípade štetovnicovej steny môj výpočet vychádzal z ceny 2 400kč/m² štetovnice, pôdorysných rozmerov stavebnej jamy 20x20m a výšky konštrukcie 28m.

Cena (materiál) steny:

Cena štetovnicovej steny na základe plochy steny a jednotkovej ceny:

$$20\text{m} \times 28\text{m} \times 2\,400\text{kč} = \mathbf{1\,344\,000,-\text{ Kč}}$$

Cena štetovnicovej steny po celom obvode stavebnej jamy:

$$4 \times 20 \times 28 \times 2\,400 = \mathbf{\underline{5\,376\,000,-\text{ Kč}}}$$

Kotviaci systém:

Cena za meter kotvy sa pohybuje okolo **3 500,- Kč/bm**

Celková dĺžka kotiev:

$$40\text{m}(1.\text{úroveň}) + 40\text{m}(2.\text{ úroveň}) + 40\text{m}(3.\text{ úroveň}) + 38\text{m}(4.\text{ úroveň}) = 158\text{m}$$

Cena jednej rady kotviaceho systému:

$$158 \times 3\,500 = \mathbf{553\,000,-\text{ Kč}}$$

Celková cena kotviaceho systému po celom obvode jamy pri rozteči kotiev 2,0m:

$$40 \times 553\,000 = \mathbf{\underline{22\,120\,000,-\text{ Kč}}}$$

Celková cena štetovnicovej steny s kotviacim systémom po obvode stavebnej jamy:

$$5\,376\,000 + 22\,120\,000 = \mathbf{\underline{27\,496\,000,-\text{ Kč}}}$$

5.3.2. Pilóťová stena

V prípade kalkulácie ceny pilóťovej steny som vychádzal z predpokladu ceny 8 000,- Kč/bm za pilóťu Ø 1200mm. Pôdorysné rozmery jamy ostali bez zmeny 20x20m. O celkovej hĺbke dosahu pilót 28m.

Pilóťová stena (materiál):

Jednotková cena pilóty pri Ø 1 200mm a hĺbke 28m:

$$28\text{m} * 8\,000\text{kč} = \mathbf{224\,000,-\text{ Kč/ pilóta}}$$

Cena pilóťovej steny dĺžky 20m vyplývajúca z jednotkovej ceny:

$$20 * 224\,000 = \mathbf{4\,480\,000,-\text{ Kč}}$$

Cena pilóťovej steny po obvode stavebnej jamy:

$$4 * 20 * 224\,000 = \mathbf{\underline{17\,920\,000,-\text{ Kč}}}$$

Kotviaci systém:

Celková dĺžka kotiev:

$$40\text{m}(1.\text{ úroveň}) + 40\text{m}(2.\text{ úroveň}) + 35\text{m}(3.\text{ úroveň}) + 37(3.\text{ úroveň}) = 152\text{m}$$

Cena za meter kotvy **3 500,- Kč**

Cena jednej rady kotviaceho systému:

$$152 * 3\,500 = \mathbf{532\,000,-\text{ Kč}}$$

Celková cena kotviaceho systému po celom obvode stavebnej jamy pri rozteči kotiev 2,0 m:

$$40 * 532\,000 = \mathbf{\underline{2\,1280\,000,-\text{ Kč}}}$$

Celková cena pilóťovej steny s kotviacim systémom po obvode stavebnej jamy:

$$17\,920\,000 + 21\,280\,000 = \mathbf{\underline{39\,200\,000,-\text{ Kč}}}$$

Súhrnná cena v Kč za pažiace konštrukcie:

Tabuľka 10 Súhrnná cena v Kč za pažiace konštrukcie

	Štetovnicová stena	Pilótová stena
Cena materiálu konštrukcie	5 376 000	17 920 000
Cena kotviaceho systému	22 120 000	21 280 000
Celková cena konštrukcie	27 496 000	39 200 000

Z celkového súčtu vychádzajú náklady na pilótovu stenu o 26% viac než za štetovnicovu. Cena za kotvenie vychádza takmer rovnako, kvôli podobným dĺžkam kotiev.

Tabuľka 11 Sumarizácia použitých materiálov

Materiál	Merná jednotka	Celkové množstvo
Štetovnicový profil Larssen 607n	m ²	2 240
	t	255,4
Kotva 15,5/1800	m	12 400
Konštrukč. betón pilót C25/30	m ³	2 688
Oceľová výstuž B500 Ø25mm	t	90,6

Podľa výrobcu:

Hmotnosť Larssen 607n 114 kg/m

114 * 28m * 80m dĺžka jamy = 255,4 ton

Výstuž Ø25mm, 3.85kg/m, 21ks

3,85 * 28m * 21 ks v pilóte * 40 pilót = 90,55 ton

6. Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo overiť možnosť vybudovania podzemného parkoviska v zastavanej oblasti. Navrhnuť a posúdiť vybrané typy stabilizačných konštrukcií stavebnej jamy podzemného parkoviska.

Prečo je podzemný priestor jednou z vhodných možností budovania parkovacích priestorov, ako vhodne umiestniť parkovacie plochy popisujem v úvodnej časti. Toto tvrdenie som podložil príkladom efektívneho využitia podzemia pre parkovisko v meste Ostrava.

S výstavbou hĺbených podzemných stavieb je úzko spätá stavebná jama. Steny jamy musia byť stabilné počas celej doby výstavby, v niektorých prípadoch počas celej životnosti stavby. V práci som popísal rozdelenie stavebných jám. Na to som nadviazal rozdelením spôsobov zaistenia stability stien jamy, a to svahovaním alebo pažením. Vybral som štyri typy pažiacich konštrukcií a popísal ich.

Najskôr bolo nutné nájsť vhodné miesto pre umiestnenie podzemnej stavby. Na základe získaných dát z vrtného prieskumu som popísal horninové prostredie a zostrojil geologický model horninového prostredia pre lepšiu predstavu o podloží stavby.

Celkom boli posudzované dve konštrukcie. Ako prvá bola štetovnicová stena, typu Larssen 607n sa zdala ako vhodná konštrukcia pre svoje tesniace vlastnosti. Pre túto situáciu bude stena využitá ako dočasná pažiacia konštrukcia podporená štyrmi úrovňami lanového kotviaceho systému. Následné posúdenie konštrukcie ukázalo, že je konštrukcia schopná odolať vyvinutým zemným tlakom. A taktiež je schopná udržať stabilitu celej steny.

Druhú možnosť ako zaistiť stabilitu jamy som zvolil systém prevrtávaných pilót o Ø 1200 mm, osovej vzdialenosti 1 m, podporený systémom lanových kotiev. Posúdenie ukázalo to, že pilótová stena bude zvládať pôsobenie zemných tlakov lepšie. Stena s kotiacim systémom bola navrhnutá tak, aby v tomto prípade zohrávala funkciu trvalého paženia.

V záverečnej časti práce porovnávam navrhnuté konštrukcie na základe troch mnou zvolených parametrov, a to: priebeh vnútorných síl, deformácie a cena konštrukcie. Priebeh vnútorných síl po výške konštrukcie obidvoch návrhov predpovedá, že veľkosti výsledných vnútorných síl sú ovplyvnené materiálom, z ktorého je stena konštruovaná, hrúbkou konštrukcie, a v prípade oceľových prvkov rozhoduje štíhlosť. Z výsledných deformácií som došiel k záveru, že v prípade štetovnicovej steny je veľkosť deformácií výrazne ovplyvňovaná rozmermi prierezu a jeho charakteristickými hodnotami. Pri porovnaní výsledných deformácií sa ukázalo, že deformácie pilótovej steny boli vypočítané o skoro 50% menšie ako v prípade oceľovej štetovnicovej steny. Posledným tretím parametrom porovnávania konštrukcií bola cena. V tomto prípade je cenový odhad konštrukcie vo výsledku výhodnejší z pohľadu štetovnicovej steny. Pri štetovnicovej stene je ale treba brať v úvahu, že konštrukcia je dočasná a bude potrebné investovať finančné zdroje do ďalších nosných konštrukcií. Cenový odhad pilótovej steny v porovnaní so štetovnicami je skoro o 12 miliónov korún vyššia. Pilótová stena bola navrhnutá ako trvalá konštrukcia a teda odpadá ďalšia nutná investícia na nosné steny parkoviska. Z prípade pilótovej steny by malo postačovať vybudovanie spodnej dosky, nainštalovanie technológie parkovacieho systému a následne zakrytie stropnou doskou.

Na základe porovnania navrhnutých stabilizačných konštrukcií som došiel k záveru, že vhodnejším riešením bude pilótová stena. Síce výsledná celková cena konštrukcie je výrazne vyššia v porovnaní s variantou štetovnicovej steny, konštrukcia z pilótovej steny bude z pohľadu dlhodobého využívania stavby výhodnejšia, vzhľadom na výsledné deformácie konštrukcie a celkovú únosnosť a stabilitu stien podzemného parkoviska. Štetovnicovú stenu by som volil pri stavbách s menšou hĺbkou založenia a v prípade pôsobenia menších zemných tlakov, než sú zaznamenávané v stiesnených podmienkach husto zastavaných oblastí. Vibrované štetovnice taktiež nie sú vhodné do miest s hustou zástavbou. Dynamické vplyvy z vibrovania by mohli poškodiť okolité budovy.

7. Zoznam použitej literarúry

Zoznam literatúry:

- [1] KLEPSATEL, František, Libor MAŘÍK a Miloslav FRANKOVSKÝ. *Městské podzemní stavby*. Přeložil Jaroslava POKORNÁ. Bratislava: Jaga, 2005
- [2] KLEPSATEL, František, Pavol KUSÝ a Libor MAŘÍK. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Přeložil Zlataše BRAUNŠTEINOVÁ. Bratislava: Jaga group, 2003.
- [3] MASOPUST, Jan a Věra GLISNÍKOVÁ. *Zakládání staveb: modul M01: zakládání staveb*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007.
- [4] MASOPUST, Jan. *Speciální zakládání staveb*. 1. díl. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004.
- [5] MASOPUST, Jan. *Speciální zakládání staveb*. 2. díl. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006.
- [6] *Betonářská ocel – Betonářská výztuž | Kondor.cz* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/betonarska-vyztuz/c-1446/>
- [7] *Inženýrské manuály k programu GEO5, FINE* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/inzenyrske-manualy/>
- [8] *Miniboxy. Testa* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.testa-qjesenice.cz/pronajem/pazeni/miniboxy-do-3m/>
- [9] *Parkovací dům v areálu VŠB-TU Ostrava* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://www.komaparking.cz/reference/parkovaci-dum-vsbtu-ostrava/>
- [10] *Pažení nepropustná: Štětovnicové steny*. Katedra technologie staveb ČVÚT v Praze, fakulta stavební [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama321.html>
- [11] *Prokešovo náměstí s podzemním parkovištěm* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/prokesovo-namesti-s-podzemnim-parkovistem>
- [12] *Stavební jama, Stromovka* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/reality-a-stavebnictvi/praha-chce-od-lordshipu-jamu-po-palaci-stromovka-planuje-stavet-parkoviste-1299142>
- [13] *Schéma ryhy, šachty*. Katedra technologie staveb, fakulta stavební ČVÚT v Praze [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/obrjama2.html#ryha>

- [14] *Základní údaje: maximální hloubka nepaženého svahu se svislými stěnami*, Katedra technologie staveb, fakulta stavební ČVÚT v Praze [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama2.html>
- [15] *Záporové pažení* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.kellergrundbau.cz/technologicka-rodina/pazici-steny/>

8. Zoznam obrázkov

Obrázok 1	Stavebná jama – konštrukčný systém ocelobetónu Ing. Lukáša[11].....	10
Obrázok 2	Východ z podzemia[11]	11
Obrázok 3	Nasávanie ventilácie podzemného parkoviska[11]	11
Obrázok 4	APS Vysoká škola báňská.....	12
Obrázok 5	Stavebná jama, výstavba palácu Stromovka [12]	13
Obrázok 6	Schéma hranatej a kruhovej šachty [13]	14
Obrázok 7	Schéma ryhy [13]	14
Obrázok 8	Záporové paženie [9].....	17
Obrázok 9	Nainštalované príložné paženie SHB [15]	19
Obrázok 10	Pilótová stena s paženou medzerou [7]	19
Obrázok 11	Tangenciálne usporiadanie pilót [7].....	20
Obrázok 12	Prevrtané pilóty [7]	20
Obrázok 13	Bishopová metóda - statická schéma pôsobiacich síl [6].....	22
Obrázok 14	Lokalizácia vrtov, stavebnej jamy a naznačenie rezu	23
Obrázok 15	Geologický model horninového prostredia	25
Obrázok 16	REZ A-A'	25
Obrázok 17	Profil Larssen 607 n	26
Obrázok 18	Schéma zaťaženia.....	27
Obrázok 19	Finálna konštrukcia v reze	28
Obrázok 20	Šmyková plocha	30
Obrázok 21	Schéma pilótovej steny	31
Obrázok 22	Ukážka finálnej konštrukcie v reze	33
Obrázok 23	Šmyková plocha	34
Obrázok 24	Priebeh vnútorných síl - štetovnicová stena.....	35
Obrázok 25	Priebeh vnútorných síl - pilótová stena	36
Obrázok 26	Deformácie - vľavo štetovnicová stena; vpravo pilótová stena	37

9. Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Maximálna hĺbka nepaženého svahu so zvislými stenami[14]	15
Tabuľka 2 Realizovateľnosť štetovnicového paženia s ohľadom na typy zeminy [10]	18
Tabuľka 3 Základné informácie	24
Tabuľka 4 Klasifikácia zemín a ich základné parametre	24
Tabuľka 5 Prierezové a materiálové charakteristiky štetovnice	26
Tabuľka 6 Kotvy – štetovnicová stena.....	27
Tabuľka 7 Posúdenie kotiev – štetovnicová stena	30
Tabuľka 8 Kotvy - pilótová stena	32
Tabuľka 9 Posúdenie kotiev – pilótová stena	34
Tabuľka 10 Súhrnná cena v Kč za pažiacie konštrukcie	40
Tabuľka 11 Sumarizácia použitých materiálov	40

10. Zoznam príloh

Príloha číslo 1	Posúdenie štetovnicovej steny, výstup z programu GEO5
Príloha číslo 2	Posúdenie pilótovej steny, výstup z programu GEO5

Príloha číslo 1

Posúdenie štetovnicovej steny, výstup z programu GEO5

Príloha číslo 2

Posúdenie pilótovej steny, výstup z programu GEO5